

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ СЛИТКОВ И СВОЙСТВА ПРОФИЛЕЙ ИЗ СПЛАВА АД31

*Шамсутдинова М.Г.<sup>1</sup>, Антонов М.М.<sup>1</sup>, Окладникова Н.В.<sup>2</sup>*

*Руководитель – доцент, к.т.н. Орелкина Т.А.*

<sup>1</sup>ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск,

<sup>2</sup>ООО «ЛПЗ «СЕГАЛ», г. Красноярск

**ritasham19@gmail.com**

Рассмотрено влияние на структуру слитков и свойства полуфабрикатов из сплава АД31 модификаторов в виде: прутковых лигатур (AlTi5C0,2 и AlTi5B1) и нанодисперсной порошковой смеси МС-М. Показано, что использование модификаторов AlTi5C0,2 и МС-М в производственных условиях возможно. Для устранения ликвационной неоднородности литой структуры рекомендован кратковременный высокотемпературный гомогенизационный отжиг.

Прессованные профили для строительных конструкций в значительных объемах изготавливают из термически упрочняемого сплава АД31 системы Al-Mg-Si. При производстве профилей из сплава АД31 необходимо обеспечение высокой технологичности при прессовании, а также высокого качества поверхности и гарантируемый уровень механических свойств готовых изделий после термического упрочнения. Высокоскоростное прессование и достижение повышенного качества поверхности и свойств готовых профилей предъявляют дополнительные требования к макро и микроструктуре слитков.

Эффективное воздействие на структуру и качество слитков, главным из которых является измельчение литого зерна, достигается за счет операции модифицирования. Структурные изменения при этом наследуются на всех этапах технологического производства деформированных полуфабрикатов и влияют на качество поверхности и механические свойства получаемых изделий. В связи с этим повышение эффективности модифицирования структуры слитков остается актуальной задачей производства профилей.

При литье слитков из сплавов системы Al-Mg-Si обычно используют прутковую лигатуру AlTi5B1. В последние годы для измельчения зерна начинают применять ультрадисперсные порошки. Однако данный метод модифицирования с диссоциацией восстановителей и восстановлением активных элементов из окислов недостаточно исследован [1, 2], и представляет большую научную и практическую значимость.

Целью данной работы является исследование влияния модифицирования лигатурными прутками и порошковой смесью на структуру слитков и свойства прессованных профилей из сплава АД31.

Объектами исследования в работе были выбраны слитки и профили из сплава АД31. Слитки диаметром 145 мм из сплава АД31 получали полунепрерывным литьем на предприятии ООО «ЛПЗ «СЕГАЛ». Для модифицирования слитков использовали лигатурный пруток AlTi5B1 и порошковую смесь «МС-М» производства ООО «КомпакХим» г. Томск. Слитки диаметром 145 и 240 мм из сплава АД31 получали при участии Л.П. Трифоненкова и М.Ф. Фроленкова на предприятии ООО «КРАМЗ», используя лигатурные прутки AlTi5C0,2 и AlTi5B1.

Гомогенизационный отжиг образцов из сплава АД31 проводили в лабораторных условиях, а слитков - в условиях производства по стандартной технологии. Прессованные профили подвергали упрочняющей термообработке: закалке на столе пресса и старению.

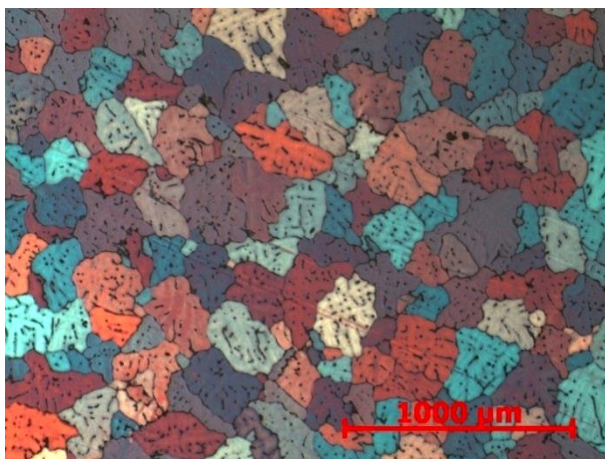
Для анализа микроструктуры применяли оптический микроскоп Carl Zeiss с использованием программы Axiovision Rel. 4.5 и микроскоп OLYMPUS GX51, с использованием опций программы Image Expert Pro 3.

Микрорентгеноспектральный анализ структуры сплава осуществляли на микроскопе EVO50 с энергодисперсионным анализатором INCO ENERGY 250.

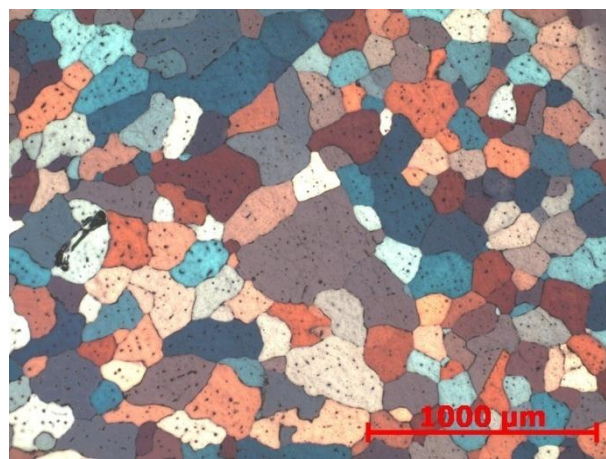
На первом этапе работы было проведено исследование модифицирующего воздействия на структуру слитков диаметром 145 мм и 240 мм с использованием стандартной лигатуры AlTi5B1 и лигатуры AlTi5C0,2. Анализ микроструктуры слитков (рис.) показал, что измельчение зерна слитков диаметром 240 мм при модифицировании данными лигатурами, происходит в одинаковой степени, в то время как в слитках диаметром 145 мм при вводе лигатуры AlTi5C0,2 зерно крупнее ~ на 40%.

На втором этапе работы исследовали влияние модифицирования смеси МС-М на структуру слитков из сплава АД31 в лабораторных условиях. Рентгенофазовый анализ использованной порошковой смеси подтвердил, что она представляет собой смесь солей щелочных металлов с оксидами  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Nb_2O_5$ . Оценка фракционного состава смеси показала, что размер всех частиц в модифицирующей смеси изменяется от 0,1 мкм до 170 мкм. При этом размер частиц оксидов тугоплавких металлов, входящих в конгломераты, находится в пределах 0,1- 2 мкм.

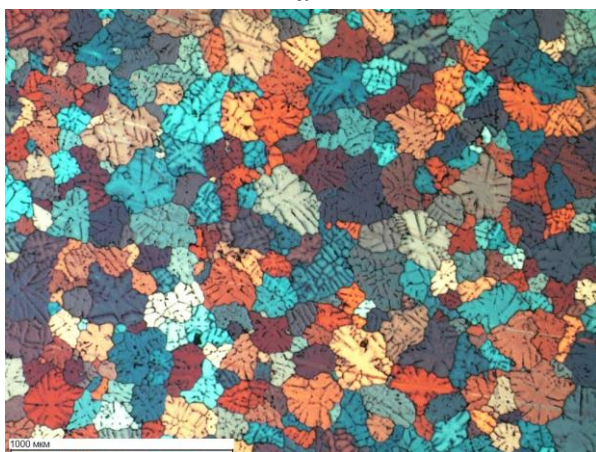
Для оценки воздействия порошковой смеси в лабораторных условиях было проведено модифицирование сплава А7Е порошковой смесью и лигатурным прутком AlTi5B1 при температуре расплава 780-800 °С. Введение смеси МС-М приводит к рафинированию расплава и измельчению зерна слитков сплава А7Е. Эффект модифицирования лабораторных слитков порошковой смесью оказывается заметно выше по сравнению с прутковой лигатурой. Это объясняется тем, что интерметаллиды алюминия, образующиеся при восстановлении металлов из оксидов и дальнейшем взаимодействии с алюминием, имеют микронные размеры, в отличие от центров кристаллизации лигатуры.



а



б



в



г

Микроструктура слитков из сплава АД31  
диаметр: а,б –240 мм; в,г –145 мм; модификатор: а, в -  $\text{AlTi5B1}$ ; б, г -  $\text{AlTi5C0,2}$ , x50

Далее была проведена апробация в промышленных условиях исследуемого модификатора МС-М при получении слитков диаметром 145 мм. Сравнивали макро и микроструктуру опытных слитков со слитками, полученными по серийной технологии с применением лигатуры  $\text{AlTi5B1}$ . Микроструктура слитка модифицированного МС-М характеризуется более крупным и неравномерным зерном, в отличие от слитка, отлитого по серийной технологии. Размер зерна в слитках серийной технологии составляет 145 мкм, тогда как размер зерна в опытных слитках - 220 мкм.

Неравномерность зерна в слитках опытной плавки может быть обусловлена недостаточной интенсивностью перемешивания расплава, и как следствие - неравномерным распределением частиц модификаторов. При проведении дальнейших работ в промышленных масштабах необходимо оптимизировать технологические параметры ввода модифицирующей смеси.

Неоднородность литой структуры и присутствие игольчатых частиц  $\beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$  в слитках негативно сказывается на допустимой скорости прессования и качестве поверхности прессованного изделия. Для слитков проводят гомогенизационный отжиг, основной задачей которого является

трансформация частиц фазы  $\beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$ , а также сфероидизация частиц железистых фаз [3]. Поэтому в работе была проведена оптимизация параметров гомогенизационного отжига.

Гомогенизационный отжиг опытного сплава (модифицированного МС-М) в лабораторных условиях проводили при температуре: 580, 590, 600, 610, 620 °С, времени выдержки 10 - 180 мин. Осуществляли количественный анализ железистых фаз опытных образцов в литом и отожденном состоянии. Основным параметром обработки структуры в программе AxioVixion был выбран показатель сферичности частиц железосодержащих фаз.

Высокотемпературные нагревы способствуют реализации процессов трансформации, фрагментации, сфероидизации железосодержащих фаз. Чем выше температура, тем интенсивнее происходят эти процессы, даже при малых выдержках. По результатам исследований в работе рекомендовано использовать для слитков высокотемпературный кратковременный отжиг (600 °С, 30 мин), который более эффективен, чем отжиг по серийному режиму (580 °С, 3ч).

На последнем этапе работы определяли влияние температуры и коэффициента вытяжки при прессовании на качество профилей из слитков сплава АД31, модифицированных смесью МС-М. Прессование профилей из слитков опытной плавки проводили при температурах 460, 480 и 500 °С и коэффициентах вытяжки 78 и 66. Определяли механические свойства профилей, после упрочняющей термообработки (старение при 180-190 °С, 5 часов). Было показано, что температура прессования не оказывает значительного влияния на уровень прочностных свойств и шероховатость поверхности профилей из слитков, модифицированных МС-М. Механические свойства профилей, полученных из слитков, модифицированных МС-М, удовлетворяют требованиям ГОСТ 22233.

### **Выводы**

1. Использование прутковой лигатуры  $\text{AlTi5C0,2}$  в производственных условиях может являться альтернативой стандартной лигатуры при модифицировании слитков сплава АД31 диаметром 240 мм.
2. Применение порошковой смеси при модифицировании технического алюминия в условиях плавки малого объема показало ее высокую модифицирующую способность.
3. Назначение для образцов из слитков сплава, модифицированного МС-М, высокотемпературного отжига (600 - 620°С) с кратковременной выдержкой (30 мин) по сравнению с серийным режимом, является более эффективным.
4. Механические свойства и качество поверхности профилей изготовленных из слитков, модифицированных порошковой смесью, соответствуют действующему стандарту.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Пат. 2016112 РФ, МКИ С22С 1/06, С22В 9/10. Способ модифицирования алюминиевых сплавов/ Д.М. Горбунов, А.В. Новиков, М.Ю. Новомейский, Ю.Д. Новомейский. – Заявка № 5036577/02. – Заявл. 08.04.1992. – 15.07.1997.
2. Якимов В.И. / Влияние модифицирующей смеси «МС-М» на качество алюминиевых отливок / В.И. Якимов, Г.Е. Паниван, С.О. Ограков, Е.В. Захарова, А.И. Евстигнеев, Хосен Ри, Ю.Д. Новомейский // Литейное производство. – 2011. №4. 7 – 8 С.
3. Брянцев, П. Б. Исследование процессов трансформации железистых фаз в алюминиевых сплавах серии бxxx при кратковременном отжиге / П.Ю. Брянцев // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2012. – №6. 24 – 27 С.